

Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Vulkanik dan Fly Ash untuk Peningkatan Daya Dukung dan Parameter Geser

Masyitah Siregar¹, Syaifuddin², Mulizar³

¹Mahasiswa, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: masyitahsiregar02@gmail.com

²Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: syaifuddin@pnl.ac.id

³Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: mulizar@pnl.ac.id

Abstrak

Tanah perlu diperhatikan karena sebagai komponen penting dalam konstruksi yang berfungsi sebagai bahan dan tempat untuk menopang beban bangunan. Kualitas dan karakteristik tanah harus diperhatikan agar konstruksi yang dibangun di atasnya dapat bertahan lama dan aman. Penelitian ini berfokus pada tanah Quarry Jalan Elak memiliki karakteristik kurang memadai untuk menopang konstruksi, ditunjukkan oleh nilai *plasticity index* (PI) sebesar 30,44%, nilai batas plastis (PL) sebesar 36,96% dan nilai batas cair (LL) sebesar 67,40%. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, tanah ini termasuk dalam kelompok A-7-5 (33) dan menurut klasifikasi USCS termasuk kelompok MH. Oleh karena itu, diperlukan stabilisasi tanah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah stabilisasi tanah dengan menggunakan Abu Vulkanik (AV) dari Burni Telong dan Fly Ash (FA) dari PLTU Pangkalan Susu dapat meningkatkan daya dukung dan parameter geser tanah Quarry Jalan Elak. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan stabilisasi tanah melalui campuran abu vulkanik dan fly ash dalam berbagai variasi persentase, FA0% + AV20%; FA5% + AV15%; FA10% + AV10%; FA15% + AV5% dan FA20% + AV0%. Pengujian yang dilakukan meliputi uji batas *Atterberg*, *California Bearing Ratio* (CBR) dalam kondisi *soaked* dan *unsoaked*, *Swelling*, serta Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi dengan abu vulkanik dan fly ash meningkatkan CBR tanah, terutama dalam campuran FA20% + AV0% dengan nilai CBR optimum sebesar 10,2% dalam kondisi *soaked* dan 19,4% dalam kondisi *unsoaked*. Nilai *swelling* juga menurun secara signifikan pada persentase fly ash 20%. Selain itu, hasil pengujian kuat geser langsung menunjukkan peningkatan nilai kohesi (c) tanah asli 0,600 kg/cm² menjadi 1,128 kg/cm² dan penurunan nilai sudut geser dalam (ϕ) dari 31,6° menjadi 18,1° pada campuran FA20% + AV0%. Dapat disimpulkan bahwa stabilisasi tanah menggunakan campuran abu vulkanik dan fly ash secara signifikan mampu meningkatkan daya dukung dan parameter geser tanah Quarry Jalan Elak.

Kata Kunci : *Stabilisasi, Fly Ash, Abu Vulkanik, CBR, Direct Shear Test*

Pendahuluan

Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat tanah asli dengan cara menambahkan suatu bahan (*additive*) ke dalam tanah agar dapat meningkatkan daya dukung dan parameter geser tanah. Dari berbagai jenis tanah, tanah lempung adalah tanah yang banyak ditemukan dalam banyak masalah keteknikan, karena tanah lempung merupakan tanah yang kohesif. Tanah lempung merupakan salah satu tanah yang mempunyai sifat yang kurang baik, tanah ini memiliki perilaku mudah untuk mengembang dan menyusut dikarenakan tanah ini sangat mudah menyerap air.

Penelitian ini menggunakan bahan kombinasi seperti Abu Vulkanik yang berasal dari Gunung Burni Telong, Pante Raya, Kabupaten Bener Meriah dan Fly Ash yang berasal dari limbah pembakaran Batubara di PLTU Pangkalan Susu. Tanah yang akan diteliti berasal dari Quarry Jalan Elak, Desa Alu Awe, Kecamatan Muara Dua, Kota Lhokseumawe. Berdasarkan hasil pengujian tanah sebelumnya dari Quarry Jalan Elak, tanah ini termasuk kedalam jenis tanah lempung dengan PI sebesar 32,19% ; *CBR Soaked* 4,3% dan *CBR Unsoaked* 8,2% (Zahara et al., 2022).

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana sifat – sifat fisis tanah lempung dari *Quarry* Jalan Elak, dan bagaimana efek pencampuran bahan tambah abu vulkanik dan *fly ash* terhadap peningkatan daya dukung dan parameter geser. Penelitian ini bermanfaat mengurangi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah *fly ash* dari sisa pembakaran batu bara pada PLTU Pangkalan Susu, dan dapat digunakan sebagai alternatif perbaikan tanah lempung dengan campuran abu vulkanik dan *fly ash*.

Metodologi

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan pada Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Tekni Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe. Data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi data primer dan data sekunder. Data primer adalah jenis data yang dikumpulkan secara langsung dari sumber utamanya seperti melalui wawancara, survei, eksperimen, dan sebagainya.

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah melalui pengamatan atau pemeriksaan di laboratorium, pengujian ini meliputi uji sifat fisis tanah yaitu pengujian kadar air (*water content test*), uji berat volume (*volume weight test*), uji berat spesifik (*specific gravity test*), uji analisa saringan (*shieve analysis*), uji hydrometer, uji batas-batas konsistensi (*atterberg limit*), Adapun pengujian mekanis tanah, yang meliputi pengujian proctor standar, *california bearing ratio* (CBR), uji geser langsung (*direct shear test*), dan *swelling*. Data sekunder yang digunakan adalah berasal dari karya ilmiah, penelitian terdahulu, dan jurnal.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang diperoleh merupakan hasil campuran tanah lempung kombinasi *fly ash* (FA) dan abu vulkanik (AV) dengan variasi antara FA 0% + AV 20% ; FA 5% + AV 15% ; FA 10% + AV 10% ; FA 15% + AV 5% dan FA 20% + AV 0%.

A. Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisis Tanah Quarry Jalan Elak

Klasifikasi tanah menurut AASHTO dilakukan berdasarkan hasil analisis saringan dan pengujian sifat fisis tanah. Berdasarkan Tabel 4.1, hasil analisis saringan tanah lolos nomor 200 (diameter 0,074 mm) sebesar 89,21% yang berarti lebih besar dari 35% sehingga tanah masuk kedalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Kemudian nilai batas cair (LL) diperoleh sebesar 67,40% yang lebih besar dari 41% dan nilai indeks plastisitas (PI) diperoleh sebesar 30,44% yang lebih besar dari 11% sehingga tanah masuk kedalam kelompok A-7. Kelompok A-7 dibagi menjadi dua yaitu A-7-5 dan A-7-6. Dari nilai batas plastis (PL) yang didapat sebesar 36,96% yang berarti lebih besar dari 30%, maka tanah ini masuk kedalam kelompok A-7-5. Kemudian dicari nilai indeks kelompok (GI) dan diperoleh sebesar 33. Dengan demikian tanah Jalan Elak masuk kedalam kelompok A-7-5 (33).

Klasifikasi tanah menurut USCS dilakukan berdasarkan analisis saringan, batas cair dan indeks plastisitas. Berdasarkan Tabel 4.1, hasil analisis saringan tanah lolos nomor 200 (diameter 0,074 mm) sebesar 89,21% yang berarti lebih besar dari 50% sehingga tanah masuk kedalam kelompok tanah berbutir halus. Kemudian batas cair (LL) diperoleh sebesar 67,40% yang lebih besar dari 50% sehingga tanah masuk kedalam kelompok OL, MH, CH, dan OH. Nilai indeks plastisitas (PI) diperoleh sebesar 30,44%, sehingga jika dihubungkan pada gambar

grafik USCS diperoleh tanah ini masuk kedalam kelompok MH atau tanah lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisis tanah

Uraian Pengujian	Satuan	Nilai Parameter
Kadar Air Tanah Asli	%	36,78
Berat Isi/Density	gr/cm ³	1,60
Berat Jenis (Gs)	-	2,63
Analisa Saringan	%	
(Persen Lolos) No. 200		89,21
Analisa Hydrometer	%	
(Persen Lolos) >50 μ	%	88,86
(Persen Lolos) >5 μ <50 μ	%	76,12
(Persen Lolos) >2 μ <5 μ	%	73,12
(Persen Lolos) <2 μ	%	65,63
Batas-batas Atterberg	%	
Batas Cair (LL)		67,40
Batas Plastis (PL)		36,96
Indeks Plastisitas (PI)		30,44
Klasifikasi tanah berdasarkan System ASSHTO	-	A-7-5 (33)
Klasifikasi tanah berdasarkan System USCS	-	MH

B. Hasil Pengujian Batas Atterberg Campuran Fly Ash dan Abu Vulkanik

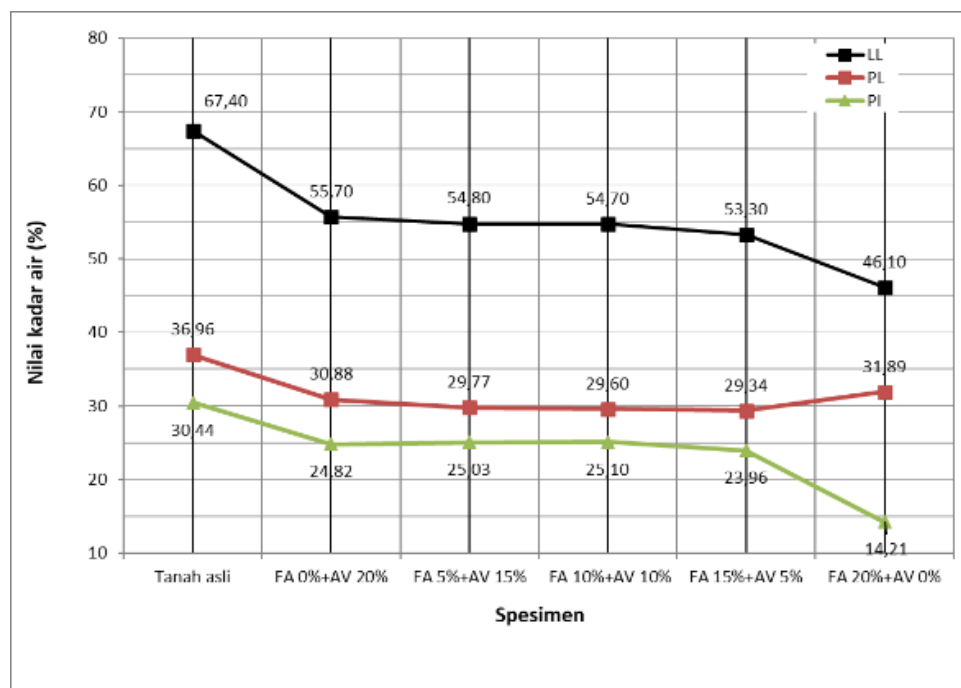
Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh hasil pengujian batas Atterberg campuran tanah lempung kombinasi *fly ash* (FA) dan abu vulkanik (AV) dengan variasi antara FA 0% + AV 20% ; FA 5% + AV 15% ; FA 10% + AV 10% ; FA 15% + AV 5% dan FA 20% + AV 0% seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2. nilai batas cair tanah asli sebesar 67,40% cenderung mengalami penurunan yaitu pada persentase FA 0% + AV 20% menjadi 55,70%, pada persentase FA 5% + AV 15% menjadi 54,80%, pada persentase FA 10% + AV 10% menjadi 54,70%, pada persentase FA 15% + AV 5% menjadi 53,30% dan persentase FA 20% + AV 0% menjadi 46,10%. Nilai batas plastis tanah asli sebesar 36,96% menurun pada persentase FA 0% + AV 20% menjadi 30,88%, pada persentase FA 5% + AV 15% menjadi 29,77%, pada persentase FA 10% + AV 10% menjadi 29,60%, pada persentase FA 15% + AV 5% menjadi 29,34% kemudian meningkat pada persentase FA 20% + AV 0% menjadi 31,89%. Nilai indeks plastis tanah asli sebesar 30,44% menurun pada persentase FA 0% + AV 20% menjadi 24,82%, kemudian meningkat pada persentase FA 5% + AV 15% menjadi 25,03%, lalu pada persentase FA 10% + AV 10% menjadi 25,10%, pada persentase FA 15% + AV 5% mengalami penurunan menjadi 23,96% dan pada persentase FA 20% + AV 0% semakin menurun menjadi 14,21%.

Tabel 2. Hasil Pengujian Batas Atterberg

Nomor	Spesimen	LL (%)	PL (%)	PI (%)
1	Lempung/Tanah asli	67,40	36,96	30,44
2	Lempung + FA 0% + AV 20%	55,70	30,88	24,82
3	Lempung + FA 5% + AV 15%	54,80	29,77	25,03
4	Lempung + FA 10% + AV 10%	54,70	29,60	25,10
5	Lempung + FA 15% + AV 5%	53,30	29,34	23,96
6	Lempung + FA 20% + AV 0%	46,10	31,89	14,21

C. Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap Batas-Batas Atterberg

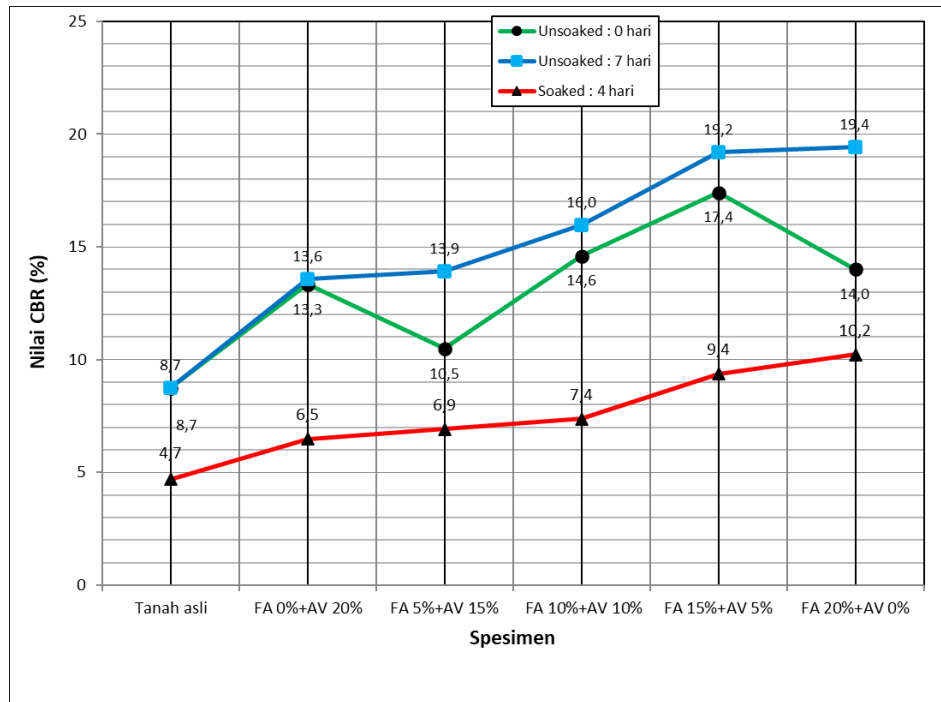


Gambar 4.1 Hubungan penambahan campuran Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap nilai batas Atterberg

Berdasarkan Gambar 1. hasil pengujian tersebut memperlihatkan bahwa campuran *fly ash* dan abu vulkanik berpengaruh terhadap perubahan nilai batas-batas *Atterberg* (sifat plastisitas tanah). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai batas cair keseluruhan mengalami penurunan dengan penambahan persentase abu vulkanik dan *fly ash* dan nilai batas plastis mengalami penurunan sampai batas campuran FA 15% + AV 5%, lalu meningkat kembali pada campuran FA 20% + AV 0%. Akibat dari perubahan batas cair dan batas plastis tersebut menyebabkan terjadi perubahan yang nyata juga pada nilai indeks plastis. Indeks plastis mengalami penurunan pada campuran FA 0% + AV 20% kemudian mengalami kenaikan terus sampai campuran FA 10% + AV 10%, lalu mengalami penurunan hingga campuran FA 20%

+ AV 0%. Perubahan sifat plastisitas tanah stabilisasi ini besar kemungkinan disebabkan karena abu vulkanik dan *fly ash* mengisi pori-pori tanah dan mengikat partikel lempung. Rongga-rongga pori yang sudah terisi oleh abu vulkanik *fly ash* menyebabkan tanah lempung lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat plastisitasnya.

D. Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap CBR

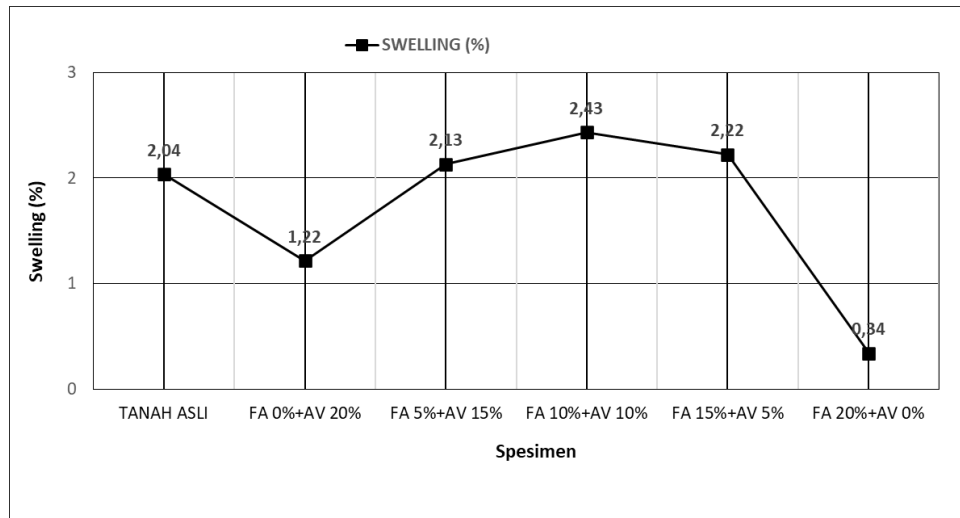


Gambar 2. Grafik pengaruh variasi penambahan *Fly Ash* dan Abu Vulkanik terhadap nilai CBR

Berdasarkan Gambar 2. hasil uji CBR untuk kondisi *soaked* (direndam) selama 4 hari menunjukkan bahwa tanah asli memiliki nilai CBR rendah yaitu 4,7%. Ini mengindikasikan bahwa tanpa penambahan bahan stabilisasi tanah memiliki daya dukung yang terbatas terutama setelah terpapar air. Namun setelah penambahan *Fly Ash* dan Abu Vulkanik, nilai CBR meningkat secara signifikan mencapai 10,2% pada spesimen dengan komposisi FA20% + AV0%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kombinasi *Fly Ash* dan Abu Vulkanik efektif dalam meningkatkan stabilitas dan kekuatan tanah meskipun dalam kondisi basah.

Secara umum, grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan *Fly Ash* dan Abu Vulkanik secara signifikan mampu meningkatkan nilai CBR tanah, baik dalam kondisi basah maupun kering. Namun peningkatan yang lebih besar terlihat pada kondisi *unsoaked* dengan *curing time* 7 hari. Ini menekankan pentingnya waktu *curing* dalam memperkuat tanah yang telah distabilisasi.

E. Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap Swelling



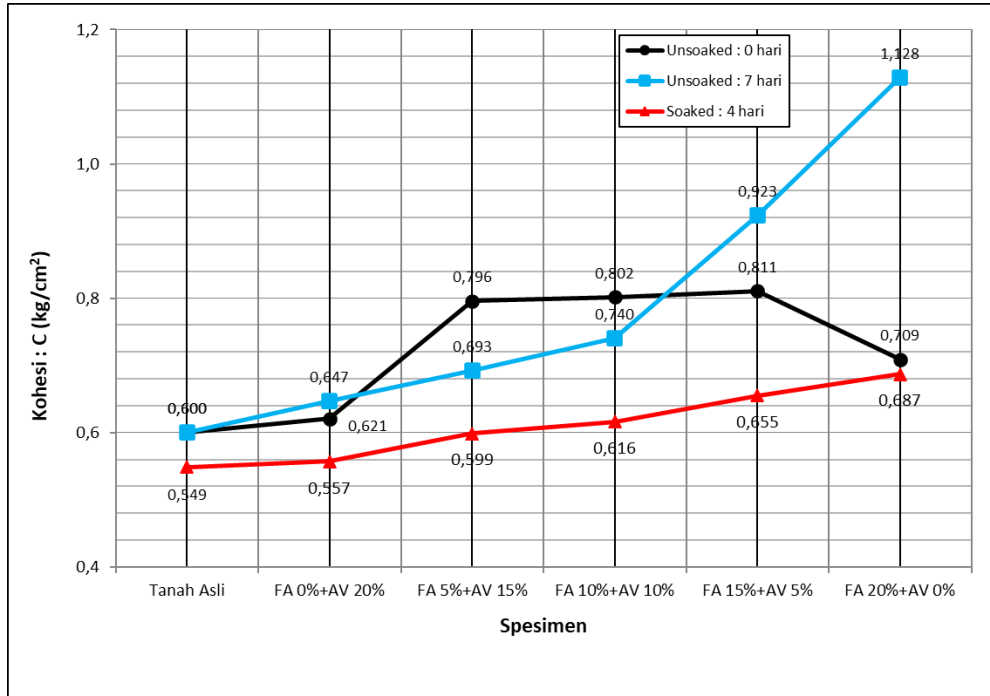
Gambar 3. Grafik pengaruh penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap nilai swelling

Berdasarkan gambar 4.6 nilai *swelling* tanah asli tercatat sebesar 2,04%, ini menunjukkan bahwa tanah di Quarry Jalan Elak memiliki potensi pengembangan yang cukup tinggi ketika terpapar air yang bisa menyebabkan masalah stabilitas pada konstruksi jika tidak dilakukan stabilisasi. Dengan penambahan *fly ash* dan abu vulkanik pada persentase FA0% + AV20% menurunkan nilai *swelling* menjadi 1,22 menunjukkan bahwa abu vulkanik pada persentase tinggi cukup efektif dalam mengurangi potensi pengembangan tanah. Namun, pada beberapa persentase seperti FA10% + AV10% dan FA15% + AV5% nilai *swelling* kembali meningkat masing-masing menjadi 2,43% dan 2,22%. Ini menandakan bahwa kombinasi tertentu mungkin kurang efektif dalam mengurangi potensi pengembangan tanah. Campuran FA20% + AV0% menunjukkan hasil paling signifikan dalam mengurangi nilai *swelling* yaitu 0,34%. Hal ini mengindikasikan bahwa *fly ash* memiliki efek positif yang besar dalam mengendalikan potensi pengembangan tanah terutama saat digunakan dalam konsentrasi tinggi tanpa tambahan abu vulkanik.

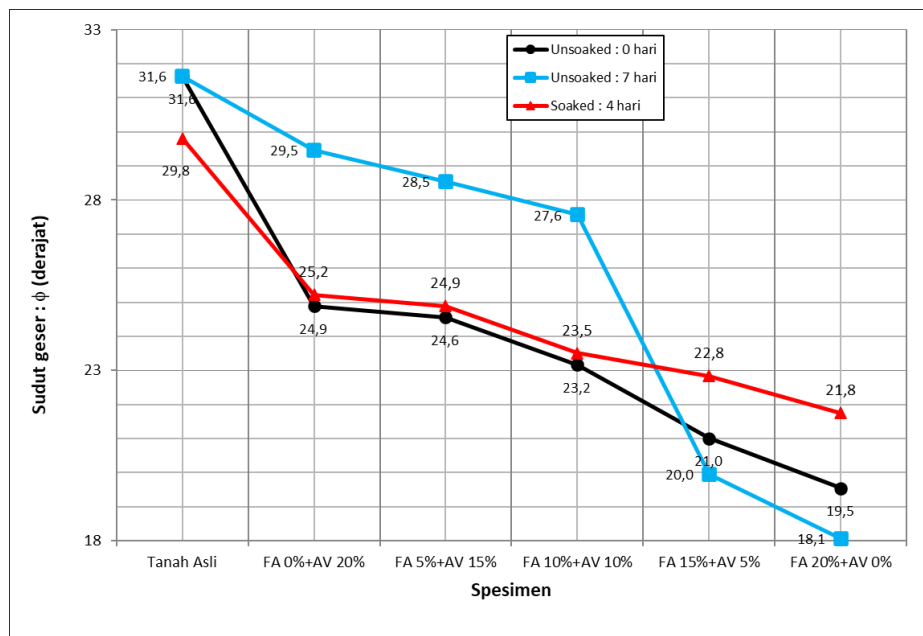
F. Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap Nilai Kuat Geser Langsung

Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan bagaimana variasi persentase *Fly Ash* dan Abu Vulkanik dalam campuran stabilisasi mempengaruhi kohesi tanah dalam tiga kondisi yang berbeda. Tanah asli memiliki nilai kohesi yang rendah yaitu 0,600 kg/cm². Ini menandakan bahwa tanah asli memiliki kekuatan kohesi yang terbatas sebelum dilakukan stabilisasi, yang berarti daya ikat antar partikelnya masih rendah. Dengan penambahan *Fly Ash* dan pengurangan Abu Vulkanik, nilai kohesi tanah menunjukkan peningkatan yang signifikan terutama pada komposisi FA20% + AV0% kohesi meningkat hingga mencapai 1,128 kg/cm² dalam kondisi *unsoaked* setelah 7 hari. Peningkatan kohesi ini menunjukkan bahwa stabilisasi dengan *Fly Ash* secara efektif meningkatkan ikatan antar partikel tanah dan memperkuat sifat mekanisnya. Grafik juga menunjukkan bahwa tanah asli dalam kondisi *soaked* (4 hari) cenderung memiliki kohesi yang lebih rendah dibandingkan kondisi *unsoaked* (0 dan 7 hari)

misalnya pada komposisi FA20% + AV0% kohesi dalam kondisi *soaked* hanya mencapai 0,549 kg/cm², hal ini menunjukkan bahwa penambahan air cenderung melemahkan ikatan antar partikel tanah meskipun stabilisasi dengan *fly ash* tetap memberikan peningkatan kohesi secara keseluruhan dibandingkan tanah asli.



Gambar 5. Grafik pengaruh penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap nilai kohesi (c)



Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan Fly Ash dan Abu Vulkanik terhadap nilai sudut geser dalam (ϕ).

Berdasarkan Gambar 6. menunjukkan pengaruh penambahan *fly ash* dan abu vulkanik terhadap nilai sudut geser dalam (ϕ) tanah pada berbagai kondisi, yaitu *unsoaked* (0 hari dan 7 hari) serta *soaked* (4 hari). Grafik ini menunjukkan penurunan sudut geser dalam seiring

dengan peningkatan persentase *fly ash* dan penurunan persentase abu vulkanik dalam campuran stabilisasi. Pada awalnya sudut geser dalam tanah asli 31,6° ini menunjukkan bahwa tanah asli memiliki kekuatan geser yang cukup tinggi sebelum dilakukan stabilisasi. Seiring dengan penambahan *fly ash* dan pengurangan abu vulkanik nilai sudut geser dalam mengalami penurunan secara konsisten di semua kondisi.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh bahan stabilisasi yang digunakan yaitu *fly ash* dan abu vulkanik terhadap tanah lempung dengan persentase campuran FA 0% + AV 20% ; FA 5% + AV 15% ; FA 10% + AV 10% ; FA 15% + AV 5% dan FA 20% + AV 0 dan masa pemeraman (*curing time*) selama 4 dan 7 hari, dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah asli termasuk dalam jenis A-7-5 (33) dan berdasarkan klasifikasi USCS termasuk dalam jenis MH, dengan nilai Batas Cair (LL) 67,40%; Batas Plastis (PL) 36,96% dan Indeks Plastisitas (PI) 30,44%.
2. Fly Ash dapat meningkatkan daya dukung karena bersifat *pozzolanic* demikian juga dengan Abu Vulkanik dan kombinasi keduanya dapat dijadikan sebagai bahan stabilisator.
3. Nilai CBR baik *soaked* maupun *unsoaked* tertinggi diperoleh pada persentase campuran Fly ash 20% sebesar 10,2% dan 19,4%.

Daftar Pustaka

- Bowles, J. E. (1991). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. PT. Erlangga.
- Bowles, J. E. (2005). Analisis Dan Desain Pondasi Jilid 2 Edisi Keempat. In *Jakarta: Erlangga* (Vol. 2, p. 474).
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.
- Hardiyatmo, H. C., Teknik, J., Universitas, S., Mada, G., Sipil, T., Teknik, F., & Gadjah, U. (1992). *Mekanika-Tanah-I-Hary-Christady-Hardiyatmopdf_Compress*.
- heryudhahendra. (2017). *Percobaan XIII Kekuatan Geser Langsung (Direct Shear Test)*.
- Kusumadinata. (2011). *Data Dasar Gunung Api Indonesia*.
- Kusumastuti, E. (2012). Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat). *Jurnal MIPA Unnes*, 35(1), 67–76.
- Neall. (1984). *Taxonomy and Management of Andisols Proceeding of Sixth Classification Workshop*.
- Prasetyo, R. H. (2014). Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai Cbr Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 6% Abu Sekam Padi Dan 4 *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1–10. <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/98>

- Rozi, M. F., & Tarigan, J. (2020). *Pendahuluan 567. 1(5)*, 567–579.
- Siregar, M. R. Gusrizal, (2022). (2022). *Penggunaan Bahan Tambahan Fly Ash Sebagai Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Metode Pemadatan Modified Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung. 5(1)*, 80.
- Siregar, A. N. D. (2023). *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Vulkanik Terhadap Daya Dukung Pengujian California Bearing Ratio (CBR). 100.*
- Sukirman, S. (1999). *TI I/ ,1. Perkerasan Jalan Lentur*, 1–129.
- Takahashi, T., & Shoji, S. (2002). Distribution and classification of volcanic ash soils. *Global Environ. Res.*, 6(2), 83–97. <http://ns.airies.or.jp/publication/ger/pdf/06-2-10.pdf>
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Penerbit Erlangga*, 2, 1–373.
- Thasniema. (2015). *Klasifikasi Tanah Di Lereng Selatan Gunung Burni Telong Kecamatan Bukit Kabupaten Bener Meriah Provinsi Aceh. 3(2337)*, 264–274.
- Zahara, T., Munirwansyah, M., & Chairullah, B. (2022). Stabilisasi Tanah Jalan Elak Kota Lhokseumawe dengan Abu Vulkanik terhadap Indeks Plastisitas Tanah. *Journal of The Civil Engineering Student*, 4(3), 211–217